RESISTANCE DES MATERIAUX

3EME ANNEE, OPTION MECANIQUE AUTOMOBILE

3 Année

MÉCANIQUE AUTOMOBILE

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

EDITION 2025



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

0.1. Objectifs Généraux du Cours 1
- 0.1.1. Maîtrise des Sollicitations Composées 1
- 0.1.2. Acquisition des Compétences en Dimensionnement et Vérification 1
- 0.1.3. Développement de l'Autonomie Analytique 1

0.2. Directives Méthodologiques 2
- 0.2.1. Du Concept à la Pièce Mécanique 2
- 0.2.2. Protocole de Résolution Systématique 2
- 0.2.3. L'Ingénierie de la Sécurité 2

0.3. Consignes de Sécurité et Normes 2
- 0.3.1. L'impératif pédagogique de la sécurité 2
- 0.3.2. Intégration des normes industrielles 3

0.4. Bibliographie et Sources 3
- 0.4.1. Principes de sélection 3
- 0.4.2. Articulation des sources 3
- 0.4.3. Usage pédagogique suggéré 4

PARTIE 1. PRINCIPES FONDAMENTAUX ET SOLLICITATIONS AXIALES **5**

a. L'invisible qui soutient le visible 5

b. La matière face à son destin : Traction et Compression 5

c. Du concept à la formule : La contrainte et la déformation 5

d. L'enjeu de sécurité : Pourquoi ce calcul est vital 5

CHAPITRE 1. NOTIONS PRÉLIMINAIRES ET HYPOTHÈSES GÉNÉRALES **6**

1.1. But et objet de la résistance des matériaux 6
- a. Du savoir-faire à la science 6
- A. L'Objet : Prévoir le comportement des pièces 6
- B. Le But : Dimensionner avec sécurité et économie 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (1852-0617-0752) **8**

Poutre en flexion simple soumise à une charge ponctuelle 8
- L'essieu du camion de Maman Leki 8

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

1.2. Hypothèses sur les matériaux et les forces....10
- a. Le monde réel face au calcul....10
- A. Hypothèses relatives au matériau....10

FIGURE 2 : RÉF. IMG (9295-0524-1008)....12

Vue microscopique d'un métal réel versus sa modélisation idéale en RDM....12
- B. Hypothèses relatives aux forces et aux déformations....12

FIGURE 3 : RÉF. IMG (9353-4383-6056)....15

Illustration du principe de Saint-Venant sur un tirant de suspension....15
- Une simplification bien pratique....15

1.3. Contrainte, déformation et principe de Saint-Venant....17
- a. L'effort intérieur et ses conséquences....17
- A. La Contrainte Normale ()....17
- B. La Déformation Longitudinale ()....18
- C. Le Principe de Saint-Venant....18

FIGURE 4 : RÉF. IMG (5432-4174-3986)....20

Principe de Saint-Venant : concentration de contrainte et uniformisation prog....20
- Anecdote du garage de Papa Bondo....20

CHAPITRE 2. LA TRACTION SIMPLE....23

2.1. Définition et exemples de traction en automobile....23
- a. L'effort d'allongement....23
- A. Définition et Contrainte Normale....23
- B. Exemples concrets en mécanique automobile....23

2.2. Condition de résistance, loi de Hooke et allongement....26
- a. La sécurité avant tout....26
- A. La condition de résistance : le pacte de sécurité....26
- B. La loi de Hooke : le dialogue entre force et déformation....27

FIGURE 5 : RÉF. IMG (3690-3194-7054)....29

Courbe de traction d'un acier montrant la zone élastique et plastique....29
- C. L'allongement : la déformation visible....29

2.3. Concentration de contraintes....32
- a. L'illusion du calcul parfait....32

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Définition du phénomène.....32

FIGURE 6 : RÉF. IMG (0105-9528-6142).....34

Lignes de force perturbées par une discontinuité géométrique.....34

- B. Le Facteur de Concentration de Contraintes ().....34

CHAPITRE 3. ESSAIS MÉCANIQUES ET PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX.....38

3.1. L'essai de traction et le diagramme contrainte-déformation.....38

- a. L'avertissement du forgeron.....38
- A. Le principe de l'essai de traction.....38
- B. Lecture et interprétation du diagramme contrainte-déformation.....39

FIGURE 7 : RÉF. IMG (7562-5147-5610).....41

Diagramme contrainte-déformation typique pour un acier doux avec ses zones clés.....41

- L'anecdote de Papa Ismaël de Mbandaka.....41

3.2. Dureté et résilience des matériaux.....43

- a. Dureté et Résilience : un duo indispensable.....43
- A. La Dureté : Résistance à la pénétration.....44
- B. La Résilience : Absorption d'énergie avant rupture.....44

FIGURE 8 : RÉF. IMG (7929-9105-2759).....45

Comparaison schématique des essais de dureté Brinell et de résilience Charpy.....45

- b. L'anecdote de l'essieu de Mbandaka.....45

3.3. Introduction à la fatigue des pièces automobiles.....47

- a. Le paradoxe du trombone.....47
- A. La Rupture Silencieuse : Le Mécanisme de Fatigue.....48

FIGURE 9 : RÉF. IMG (3129-4068-1375).....50

Courbe de Wöhler (S-N) illustrant la durée de vie d'un matériau.....50

- B. La Route, l'Ennemi des Pièces : Cycles et Contraintes.....50

FIGURE 10 : RÉF. IMG (2196-6330-1717).....52

Aspect typique d'une rupture par fatigue sur un axe en acier.....52

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....52

CHAPITRE 4. LA COMPRESSION SIMPLE.....55

4.1. La compression simple : contraintes et déformations.....55

- a. Le pilier invisible..... 55
- A. La Contrainte de Compression (σ)..... 55

FIGURE 11 : RÉF. IMG (4401-3895-8522)..... 57

Poutre cylindrique courte subissant une compression uniforme..... 57
- B. Déformation et Condition de Résistance..... 57

4.2. Introduction au flambage des pièces élancées..... 59
- a. Le paradoxe de la branche de manguier..... 59
- A. La notion d'élancement mécanique..... 60
- B. La charge critique d'Euler..... 60

FIGURE 12 : RÉF. IMG (3985-9721-8270)..... 63

Analyse des modes de flambement selon les liaisons d'extrémité..... 63
- L'anecdote de l'échafaudage de Goma..... 63

PARTIE 2. CISAILLEMENT, TORSION ET CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES..... 66

a. La logique du "coupant"..... 66

b. La torsion, une affaire de rotation..... 66

c. La géométrie, architecte de la résistance..... 66

d. L'alliance des contraintes dans le réel..... 66

CHAPITRE 5. LE CISAILLEMENT SIMPLE..... 67

5.1. Cisaillement : contrainte tangentielle et condition de résistance..... 67
- a. L'action invisible des forces..... 67
- A. La Contrainte Tangentielle (τ)..... 67

FIGURE 13 : RÉF. IMG (4708-7066-3533)..... 69

Vue schématique d'un rivet subissant un effort de cisaillement simple..... 69
- B. Condition de Résistance..... 69

5.2. Application aux assemblages : rivets et boulons..... 72
- a. L'importance des petites pièces..... 72
- A. Le cisaillement simple : la guillotine microscopique..... 72
- B. Condition de résistance..... 73
- C. Sections cisaillées multiples..... 73

FIGURE 14 : RÉF. IMG (0067-4831-3728)..... 76

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Comparaison entre le cisaillement simple (à gauche) et double (à droite).....76
- L'expérience du port de Kisangani.....76

5.3. Application à la transmission : clavetage et goupillage.....78
- a. Le secret d'une équipe qui gagne.....78
- A. Le clavetage : le maillon de la transmission.....79
- B. Condition de résistance au cisaillement.....79

FIGURE 15 : RÉF. IMG (5621-6971-0181).....81

Mécanisme du cisaillement simple d'une clavette dans un assemblage arbre-moyeu.....81
- C. Le goupillage : une alternative robuste.....81

CHAPITRE 6. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES SECTIONS PLANES.....84

6.1. Moment statique et centre de gravité (G).....84
- a. L'équilibre invisible des structures.....84
- A. Moment Statique : Le Premier Moment d'Aire.....84

FIGURE 16 : RÉF. IMG (8692-5035-9774).....85

Centre de gravité d'une section rectangulaire simple et ses axes.....85
- B. Centre de Gravité (G) : Le Point d'Équilibre Géométrique.....85

FIGURE 17 : RÉF. IMG (4437-6014-7901).....88

Décomposition d'une section en T pour trouver son centre de gravité.....88
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....88
- b. L'intuition du soudeur de Mbuji-Mayi.....88

6.2. Moment quadratique (inertie) et théorème de Huygens.....91
- a. L'intuition des bâtisseurs.....91
- A. Définition du moment quadratique.....91
- B. Le théorème de Huygens (théorème du transport).....92

FIGURE 18 : RÉF. IMG (1161-2063-1187).....94

Application du théorème de Huygens sur une poutre en T.....94
- b. Scénarios et Exercices.....94

6.3. Module de flexion et rayon de giration.....96
- a. De l'intuition à la formule.....96
- A. Le module de flexion (ou module d'inertie).....97

FIGURE 19 : RÉF. IMG (2404-2249-3544).....99

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Comparaison de l'efficacité d'une section rectangulaire et d'une section en I.....99
- B. Le rayon de giration.....99

CHAPITRE 7. LA TORSION SIMPLE.....103

7.1. Définition et applications de la torsion en automobile.....103
- a. Du pagne au moteur.....103
- A. Définition formelle et contrainte de cisaillement.....103
- B. La déformation : l'angle de torsion.....104

FIGURE 20 : RÉF. IMG (1171-1441-6650).....105

Effets de la torsion sur un arbre de transmission automobile.....105
- Scénarios et Exercices.....105
- Anecdote : La panne du Fuso sur la route du Kwilu.....105

7.2. Contrainte tangentielle et condition de résistance.....107
- a. L'effort invisible qui brise l'acier.....107
- A. Répartition de la contrainte tangentielle.....107

FIGURE 21 : RÉF. IMG (8364-2898-0784).....109

Distribution de la contrainte tangentielle dans une section circulaire pleine.....109
- B. Condition de résistance à la torsion.....109

FIGURE 22 : RÉF. IMG (1794-1989-6524).....112

Comparaison d'un arbre résistant et d'un arbre ayant subi une rupture.....112
- b. Scénarios et Exercices.....112

7.3. Déformation et angle de torsion.....114
- a. Le paradoxe de la torsion.....114
- A. Le glissement angulaire (distorsion).....115

FIGURE 23 : RÉF. IMG (3838-0627-4388).....117

Visualisation de la déformation par torsion sur un arbre cylindrique plein.....117
- B. La formule de l'angle de torsion total.....117

FIGURE 24 : RÉF. IMG (0255-9674-0385).....119

Paramètres fondamentaux pour le calcul de l'angle de torsion d'une pièce.....119
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....119

CHAPITRE 8. RESSORTS HÉLICOÏDAUX ET BARRES DE TORSION.....122

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

8.1. Calcul des ressorts hélicoïdaux (ex: ressorts de soupapes)....122
- a. Un voyage mouvementé sur la Nationale 1....122
- A. La torsion cachée dans la compression....122

FIGURE 25 : RÉF. IMG (1720-3647-7028)....124

Anatomie d'un ressort hélicoïdal et ses sollicitations....124
- B. Déformation axiale (flèche) et raideur....124

8.2. Étude des barres de torsion de suspension....127
- a. L'essence de la torsion....127
- A. Principe et Fonctionnement....127

FIGURE 26 : RÉF. IMG (5369-2530-7740)....130

Schéma de principe d'une barre de torsion sur un essieu automobile....130
- B. Formulation Mathématique....130

FIGURE 27 : RÉF. IMG (3914-3924-8807)....133

Diagramme des contraintes et déformations dans une barre de torsion circulaire....133
- C. Scénarios et Exercices....133

8.3. Assemblage des ressorts (série et parallèle)....135
- a. L'union fait la force, ou la souplesse ?....135
- A. L'assemblage en série : Additionner les souplesses....135

FIGURE 28 : RÉF. IMG (9922-2484-0021)....138

Ressorts hélicoïdaux assemblés bout à bout en configuration de série....138
- B. L'assemblage en parallèle : Additionner les raideurs....138

FIGURE 29 : RÉF. IMG (4831-1142-9149)....140

Deux ressorts montés côte à côte pour un assemblage en parallèle....140
- b. L'anecdote du mécanicien de Lubumbashi....140

PARTIE 3. FLEXION ET APPLICATIONS COMPLEXES AUTOMOBILES....143

Le défi du châssis....143

La science des lames de ressort....143

Fibre neutre : le cœur invisible de la pièce....143

Dimensionnement et sécurité : le calcul au service de la vie....143

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

CHAPITRE 9. LA FLEXION PLANE SIMPLE – EFFORTS INTERNES.....144

9.1. Flexion plane simple : définition et types de charges.....144

- a. Introduction : La flexion, plus qu'une simple courbure.....144
- A. Définition de la flexion plane simple.....144

FIGURE 30 : RÉF. IMG (2473-7239-2580).....146

Poutre sur deux appuis simples subissant une charge ponctuelle centrale.....146

- B. Typologie des charges en flexion.....146

FIGURE 31 : RÉF. IMG (5227-0946-1897).....149

Comparaison visuelle des types de charges sur une poutre encastrée.....149

- b. Les lames de ressort : la flexion au quotidien.....149

9.2. Détermination et diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant.....151

- a. La poutre qui parle.....151
- A. L'Effort Tranchant (T ou V) : La force qui cisaille.....152
- B. Le Moment Fléchissant (M ou Mf) : La force qui plie.....152

FIGURE 32 : RÉF. IMG (3337-5708-8967).....154

Convention des signes pour l'effort tranchant et le moment fléchissant.....154

- C. Le lien mathématique et les diagrammes.....154

CHAPITRE 10. CONTRAINTES EN FLEXION.....157

10.1. Contrainte normale en flexion et condition de résistance.....157

- a. Du pont en lianes au châssis automobile.....157
- A. La contrainte normale : une histoire de fibres tendues et comprimées.....157

FIGURE 33 : RÉF. IMG (1789-7690-1306).....160

Répartition des contraintes normales dans une poutre en flexion simple.....160

- B. La condition de résistance : la promesse de ne pas casser.....160

FIGURE 34 : RÉF. IMG (8366-1035-2960).....162

Vérification de la condition de résistance pour une pièce mécanique automobile.....162

- Scénarios et Exercices.....162

10.2. Choix des sections optimales pour la flexion (profilés).....164

- a. Le poids mort est l'ennemi de l'ingénieur.....164
- A. Le Moment Quadratique (), Juge de Paix.....164

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le Paradoxe de la Matière Inutile.....165

FIGURE 35 : RÉF. IMG (2491-6951-1063).....167

Comparaison de l'efficacité des profilés courants en flexion.....167

- C. La Logique des Profilés.....167

10.3. Introduction à la flexion déviée.....169

- a. Le cas idéal et la réalité du terrain.....169
- A. Définition et conditions d'apparition.....170
- B. Le principe de superposition.....170

FIGURE 36 : RÉF. IMG (5560-9618-7794).....171

Décomposition du moment fléchissant en flexion déviée sur une section.....171

- C. Axe neutre en flexion déviée.....171

CHAPITRE 11. DÉFORMATIONS EN FLEXION (LA FLÈCHE).....174

11.1. Déformée d'une poutre et notion de flèche.....174

- a. L'équation cachée du mouvement.....174
- A. La Déformée : La nouvelle courbe de la poutre.....174

FIGURE 37 : RÉF. IMG (5071-1402-0137).....176

Déformation d'une poutre simple sous une charge ponctuelle au centre.....176

- B. La Flèche : Mesurer le déplacement maximal.....176

FIGURE 38 : RÉF. IMG (9205-2742-2225).....178

Mesure de la flèche maximale (f) au point d'application de la force.....178

- Scénarios et Exercices.....178
- Une leçon de levage à Matadi.....178

11.2. Calcul de la flèche maximale et condition de rigidité.....180

- a. L'invisible courbure.....180
- A. La flèche maximale (ou).....180

FIGURE 39 : RÉF. IMG (0106-0294-1695).....183

Poutre sur deux appuis simples avec sa déformée et sa flèche.....183

- B. La condition de rigidité.....183

11.3. Application aux ressorts à lames.....187

- a. Le paradoxe de la robustesse.....187

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le ressort à lames : une poutre superposée.....187
- B. Calcul de la flèche d'un ressort.....188
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....189

CHAPITRE 12. SYNTHÈSE ET ÉTUDES DE CAS « RÉALITÉS RDC ».....192

12.1. Sollicitations composées (Flexion + Torsion).....192
- a. Le paradoxe de la transmission.....192
- A. Superposition et point critique.....192

FIGURE 40 : RÉF. IMG (2532-4499-3125).....194

Arbre de transmission subissant flexion et torsion simultanément.....194
- B. Critères de résistance pour les matériaux ductiles.....194

12.2. Étude de cas : Le châssis de camion sur piste.....197
- a. Introduction à la fatigue des châssis.....197
- A. Modélisation du châssis en poutre.....198

FIGURE 41 : RÉF. IMG (0070-7186-4458).....200

Modélisation simplifiée d'un châssis de camion en poutre sur appuis.....200
- B. Contrainte maximale et critère de résistance.....200

FIGURE 42 : RÉF. IMG (6482-6445-3699).....203

Répartition de la contrainte de flexion dans une poutre de châssis.....203
- Scénarios et Exercices.....203
- Une question de répartition.....203

12.3. Étude de cas : L'arbre de transmission.....205
- a. De l'idée à la route.....205
- A. Sollicitations principales d'un arbre de transmission.....206
- B. Le risque de flambage (ou flambement).....206

FIGURE 43 : RÉF. IMG (4500-2558-4799).....207

Anatomie d'un arbre de transmission automobile et ses composants clés.....207

FIGURE 44 : RÉF. IMG (0523-4211-1981).....209

Visualisation des contraintes de torsion et du phénomène de flambage.....209
- Anecdote : La panne du Fuso sur la Nationale 1.....209

12.4. Diagnostic des ruptures mécaniques.....211

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'art de lire dans les métaux brisés.....211
- A. Les deux grandes familles de rupture : ductile et fragile.....212
- B. La rupture par fatigue : l'ennemi numéro un de l'automobile.....212

ANNEXES.....215

A.1. Formulaire Récapitulatif.....215
- A. Grandeurs Fondamentales et Unités (SI).....215
- B. Contraintes et Déformations.....215
- C. Sollicitation de Torsion (sections circulaires).....216
- D. Sollicitation de Flexion Pure.....217
- E. Propriétés Géométriques des Sections.....218

A.2. Tables des Caractéristiques des Matériaux.....219
- A. Définitions des Propriétés Mécaniques Fondamentales.....219
- B. Caractéristiques des Aciers et Fontes.....221
- C. Caractéristiques des Alliages d'Aluminium.....222
- D. Caractéristiques des Polymères et Composites.....222

A.3. Guide des Profilés Standards.....223
- A. Définitions et Normalisation.....223
- B. Profilés en I et en H.....224
- C. Profilés en U et Cornières.....225
- D. Profilés Creux (Tubes).....226

A.4. Lexique Technique Français-Anglais.....227
- A. Contraintes et Sollicitations (Stresses and Loads).....227
- B. Déformations et Propriétés Matérielles (Strains and Material Properties).....228
- C. Phénomènes et Modes de Rupture (Phenomena and Failure Modes).....229

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

0.1. Objectifs Généraux du Cours

0.1.1. Maîtrise des Sollicitations Composées

Ce programme ambitionne de dépasser l'analyse des sollicitations simples (traction, compression). Il vise la maîtrise des sollicitations composées, fondamentales en mécanique automobile. L'objectif est de permettre à l'élève de modéliser et de résoudre des cas de torsion, de flexion plane simple et de cisaillement, souvent combinés dans les pièces mécaniques réelles comme un arbre de transmission ou un vilebrequin. La capacité à décomposer un effort complexe en ses composantes simples est une compétence nodale à développer.

0.1.2. Acquisition des Compétences en Dimensionnement et Vérification

Une compétence centrale visée est le dimensionnement des structures et des organes mécaniques. L'élève doit être capable, à partir d'un cahier des charges fonctionnel, de déterminer les dimensions minimales d'une pièce pour qu'elle résiste aux efforts appliqués en toute sécurité. Inversement, il doit pouvoir effectuer la vérification de la résistance d'une pièce existante soumise à de nouvelles contraintes. Cela inclut le choix du matériau et l'application correcte des coefficients de sécurité.

0.1.3. Développement de l'Autonomie Analytique

Au-delà des calculs, le cours développe une méthodologie de raisonnement rigoureuse. L'objectif final est de rendre l'élève autonome dans l'analyse d'un problème de résistance des matériaux. Il devra savoir isoler un système mécanique, réaliser le bilan des actions mécaniques extérieures, poser correctement les hypothèses simplificatrices et choisir le modèle de calcul adéquat. L'interprétation critique des résultats obtenus est une finalité essentielle pour former de futurs techniciens responsables.

0.2. Directives Méthodologiques

0.2.1. Du Concept à la Pièce Mécanique

L'enseignement de la Résistance des Matériaux s'articule autour d'un principe fondamental : la transition permanente de l'abstraction mathématique vers l'application concrète. Chaque concept théorique, de la contrainte normale (σ) à la déformation (ϵ), doit être immédiatement illustré par une pièce automobile identifiable. Un arbre de transmission pour la torsion, un bras de suspension pour la flexion, un boulon de culasse pour la traction. Cette contextualisation systématique assure la pertinence du savoir et ancre la théorie dans le réel de l'atelier.

0.2.2. Protocole de Résolution Systématique

Une progression didactique rigoureuse structure l'acquisition des compétences. La résolution de problème suit un protocole invariant : modélisation de la pièce, établissement du diagramme de corps libre, identification des sollicitations, application des lois de comportement et calcul des marges de sécurité. Cette démarche analytique prépare l'élève à la logique du diagnostic de défaillance mécanique, dépassant le simple cadre de l'exercice scolaire pour introduire aux standards professionnels.

0.2.3. L'Ingénierie de la Sécurité

L'évaluation critique des résultats constitue une finalité pédagogique centrale. Le calcul brut d'une contrainte maximale n'a de valeur que s'il est confronté à la limite élastique du matériau (R_e). L'introduction systématique du coefficient de sécurité transforme un simple exercice de calcul en une véritable analyse d'ingénierie, sensibilisant l'élève à la responsabilité technique et éthique du concepteur. L'objectif est de former des techniciens capables non seulement de calculer, mais aussi de valider la fiabilité d'un composant.

0.3. Consignes de Sécurité et Normes

0.3.1. L'impératif pédagogique de la sécurité

L'enseignement de la sécurité en Résistance des Matériaux dépasse la simple énumération de précautions d'atelier. Il constitue une compétence transversale fondamentale. Chaque calcul de dimensionnement, chaque analyse de contrainte est, par essence, une démarche de sécurisation préventive. La défaillance d'une pièce mécanique (bielle, arbre de

transmission, suspension) a des conséquences directes sur la sécurité des usagers.

L'objectif pédagogique est donc double. Il vise la maîtrise des outils de calcul. Il vise surtout à inculquer une culture de la responsabilité où chaque résultat numérique est associé à un enjeu de sécurité tangible. Le coefficient de sécurité n'est pas une simple variable mathématique ; il représente la marge préventive contre la rupture et le risque humain.

0.3.2. Intégration des normes industrielles

La pratique de la mécanique automobile s'inscrit dans un cadre normatif international rigoureux. La connaissance des normes (ISO, DIN, SAE) est une exigence non négociable pour le technicien moderne. Ces standards garantissent la fiabilité, l'interchangeabilité et la traçabilité des composants.

Intégrer ces normes aux études de cas pratiques est essentiel. Lors du calcul d'un assemblage boulonné, la référence aux classes de qualité des vis (ex: 8.8, 10.9) est une application directe des normes. L'enseignant doit donc lier systématiquement la théorie de la RDM aux spécifications techniques réelles du secteur automobile. Cette approche ancre la formation dans la réalité industrielle et prépare l'élève aux exigences de sa future profession.

0.4. Bibliographie et Sources

0.4.1. Principes de sélection

Une double exigence a guidé la sélection des sources. La première est la conformité rigoureuse avec les référentiels de l'Enseignement Primaire, Secondaire et Technique (EPST) pour l'option Mécanique Automobile, en vue de la préparation aux épreuves de l'Examen d'État. La seconde exigence est d'ordre scientifique. Elle consiste à articuler les traités fondamentaux de la Résistance des Matériaux avec des publications techniques récentes et spécifiques au secteur automobile. Ce choix vise à garantir une base théorique solide tout en assurant une pertinence pratique immédiate pour le futur technicien.

0.4.2. Articulation des sources

Trois catégories principales structurent l'appareil bibliographique. Les ouvrages fondamentaux (par exemple, les travaux de Timoshenko, Beer & Johnston) fournissent les démonstrations et les lois générales de la RDM. Les

manuels techniques spécialisés en ingénierie automobile offrent des études de cas, des données matériaux et des exemples de calculs appliqués aux châssis, suspensions ou éléments de transmission. Finalement, les normes techniques (ISO, SAE) et les publications de constructeurs sont incluses pour familiariser l'élève et l'enseignant aux standards industriels en vigueur.

0.4.3. Usage pédagogique suggéré

Ces références ne constituent pas une lecture obligatoire pour l'élève. Elles représentent une ressource pour l'enseignant désireux d'approfondir un point théorique ou de construire des exercices contextualisés. Les manuels spécialisés, par exemple, peuvent inspirer des problèmes concrets liés aux contraintes subies par les véhicules sur les axes routiers spécifiques, comme la route Boma-Matadi au Kongo Central ou les pistes du Kasaï. L'enseignant y trouvera matière à illustrer l'impact des vibrations et des chocs sur la fatigue des structures, rendant la théorie directement observable.

Partie 1. PRINCIPES FONDAMENTAUX ET SOLLICITATIONS AXIALES

a. L'invisible qui soutient le visible

Une structure mécanique ne "tient" pas par magie. Chaque pièce, du châssis d'un camion Fuso au simple boulon de roue, subit des forces invisibles qui la tirent, la poussent ou la tordent. La Résistance des Matériaux (RDM) est la science qui décode cet équilibre interne. Elle permet de prédire comment une pièce réagit, se déforme et surtout, comment elle résiste avant la rupture.

b. La matière face à son destin : Traction et Compression

Fondamentalement, deux sollicitations axiales simples dominent : la traction et la compression. La traction étire une pièce, comme un câble de remorquage sortant une voiture de la boue près de Lisala. La compression, à l'inverse, l'écrase ou la raccourcit, à l'image d'un amortisseur encaissant un choc sur une route cahoteuse du Kwilu. Ces deux actions opposées sont le point de départ de toute analyse structurelle.

c. Du concept à la formule : La contrainte et la déformation

Quantifier ces efforts est le rôle de l'ingénieur mécanicien. Pour cela, deux grandeurs sont essentielles. La contrainte, notée σ (sigma), mesure la force interne rapportée à la surface de la pièce. La déformation, notée ϵ (epsilon), exprime son allongement ou son raccourcissement relatif. Ces deux paramètres forment le langage mathématique qui décrit l'état de santé d'un matériau sous charge.

d. L'enjeu de sécurité : Pourquoi ce calcul est vital

Le dimensionnement d'une pièce n'est jamais un jeu. Un calcul erroné sur une fusée d'essieu peut avoir des conséquences dramatiques sur la route reliant le Kongo Central au reste du pays. La RDM fournit les outils pour définir une limite élastique et un coefficient de sécurité. Chaque formule appliquée est une garantie contre la défaillance, assurant la fiabilité du véhicule et la sécurité des passagers.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Chapitre 1. Notions Préliminaires et Hypothèses Générales

1.1. But et objet de la résistance des matériaux

a. Du savoir-faire à la science

Pendant des siècles, la construction des ponts ou des bâtiments reposait sur l'intuition et l'expérience. Les bâtisseurs de l'Équateur ou du Kongo Central savaient, par tradition, quelle épaisseur de bois utiliser pour une poutre de case. Une erreur de jugement signifiait souvent un risque d'effondrement. Cette connaissance était précieuse mais empirique.

La résistance des matériaux (RDM) transforme cette intuition en une science exacte. Elle fournit les outils mathématiques pour calculer et prédire le comportement des pièces mécaniques. Son application vise un double objectif fondamental : la sécurité des constructions et l'économie de matière.

A. L'Objet : Prévoir le comportement des pièces

La RDM étudie les relations entre les forces extérieures appliquées à un solide et les effets internes qui en résultent. Un solide soumis à une force se déforme et développe des efforts internes pour résister à cette sollicitation.

L'objet de la RDM est donc de modéliser ce comportement. Elle permet de déterminer, en tout point d'une pièce mécanique (bielle, arbre de transmission, châssis) : * Les contraintes (forces internes par unité de surface, notées σ ou τ). * Les déformations (changements de forme ou de dimension).

Connaître ces valeurs est essentiel pour prédire si la pièce va résister, se déformer de manière acceptable ou rompre.

B. Le But : Dimensionner avec sécurité et économie

Le but ultime de la RDM est le dimensionnement. Dimensionner une pièce consiste à définir sa forme géométrique et ses dimensions pour qu'elle remplisse sa fonction en toute sécurité et au moindre coût.

Ce but se décline en deux exigences complémentaires.

1. **La condition de résistance (Sécurité)** : La pièce ne doit pas se rompre sous l'effet des charges prévues. La contrainte maximale dans

le matériau doit rester inférieure à une contrainte admissible, définie par un coefficient de sécurité.

2. **La condition de rigidité (Performance)** : La pièce ne doit pas se déformer excessivement. Un arbre de transmission qui se tord trop perd de son efficacité. Un châssis qui fléchit altère la tenue de route du véhicule.

L'enjeu pour le mécanicien ou l'ingénieur est de trouver le juste équilibre. Une pièce surdimensionnée est sûre mais lourde et coûteuse. Une pièce sous-dimensionnée est économique mais dangereuse. La RDM est l'outil qui permet de trouver cet optimum.

Figure 1 : Réf. IMG (1852-0617-0752)

Poutre en flexion simple soumise à une charge ponctuelle

a. Description de la situation

Une poutre, posée sur deux appuis simples, supporte une charge F en son milieu. Cette situation modélise un essieu de véhicule entre deux roues ou le châssis supportant le moteur. Sous l'effet de la charge, la poutre se déforme visiblement : elle fléchit. La ligne initialement droite devient une courbe. La RDM permet de calculer la flèche maximale (la déformation) et de vérifier si la poutre peut supporter la charge sans se casser.

b. Les fibres et les contraintes

À l'intérieur de la poutre, la matière travaille. Les fibres de la partie supérieure de la poutre sont raccourcies : elles sont en compression. Les fibres de la partie inférieure sont allongées : elles sont en traction. Entre les deux, une ligne de fibres, appelée fibre neutre, ne change pas de longueur. La contrainte est maximale sur les fibres les plus éloignées de la fibre neutre.

c. La notion de sécurité

Si la charge F est trop importante, deux choses peuvent arriver. Soit la déformation devient permanente (la poutre reste tordue même après avoir retiré la charge), soit elle se rompt. Le but de la RDM est de calculer la charge maximale admissible pour que la poutre travaille uniquement dans son domaine élastique (déformation réversible) et avec une marge de sécurité suffisante pour éviter la rupture.

L'essieu du camion de Maman Leki

Maman Leki est une commerçante respectée du Kwilu. Son vieux camion Mercedes fait la navette entre le port de Matadi et le grand marché de Kinshasa, toujours chargé au maximum de sacs de farine et de bidons d'huile. Un matin, sur la route nationale en mauvais état, un bruit sec retentit : l'essieu arrière vient de casser net. Le camion est immobilisé, la marchandise bloquée.

Arrivé sur place, le vieux mécanicien Papa Wendo examine la pièce rompue. Il explique à Maman Leki : "Ce n'est pas une mauvaise pièce, Maman. C'est la fatigue. Ton camion est prévu pour 10 tonnes. Toi, tu mets 15 tonnes tous

les jours. L'essieu a été calculé pour une certaine charge. En le surchargeant systématiquement, tu as dépassé les limites prévues par les ingénieurs. La RDM, ça ne pardonne pas."

Exercice 1 : Le cric de Papa Kabasele

Énoncé : Papa Kabasele, à Mbuji-Mayi, veut changer une roue de sa vieille Toyota Carina. Il utilise un cric à vis. En tournant la manivelle, la vis centrale monte et soulève le châssis de la voiture.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la sollicitation** La vis du cric supporte tout le poids de la voiture. Cette force est dirigée le long de son axe et tend à l'écraser. Il s'agit donc d'une sollicitation de **compression**.
2. **Étape 2 : Analyse du risque de sous-dimensionnement** Si le diamètre de la vis était trop faible pour le poids de la voiture, la contrainte de compression deviendrait trop élevée. Deux types de rupture sont possibles : la rupture des filets par cisaillement, ou le flambement de la vis (elle se tordrait brusquement sur le côté). Dans les deux cas, le cric lâcherait et la voiture tomberait, créant une situation très dangereuse. Le dimensionnement correct de cette vis est une question de sécurité directe.

Exercice 2 : La suspension de la moto-taxi à Kisangani

Énoncé : Jean, conducteur de moto-taxi à Kisangani, parcourt des dizaines de kilomètres chaque jour sur des routes pleines de nids-de-poule. Le ressort de son amortisseur arrière est constamment sollicité.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la fonction RDM du ressort** La fonction principale du ressort est d'absorber l'énergie des chocs en se déformant de manière élastique. Il se comprime pour encaisser le choc, puis restitue l'énergie en revenant à sa forme initiale. Il travaille principalement en compression et en torsion (selon le type de ressort). Sa conception relève de la condition de rigidité et de déformation.
2. **Étape 2 : Analyse du phénomène à long terme** Chaque nid-de-poule correspond à un cycle de compression/détente. Après des millions de cycles, même si la charge n'est jamais assez forte pour

casser le ressort en une seule fois, le matériau subit un phénomène de **fatigue**. Une microfissure peut apparaître et s'agrandir à chaque cycle, jusqu'à la rupture soudaine du ressort. La RDM permet aussi de calculer la durée de vie d'une pièce soumise à la fatigue.

1.2. Hypothèses sur les matériaux et les forces

a. Le monde réel face au calcul

Même si un mécanicien de Bumba regarde une bielle, il voit une pièce de métal solide et unique. Pourtant, à l'échelle microscopique, ce métal est un assemblage complexe de cristaux, de vides et d'impuretés. Chaque pièce sortie d'usine est, en vérité, légèrement différente de la précédente.

Cette complexité rendrait tout calcul de résistance impossible. La RDM propose donc une solution radicale. Elle remplace l'objet réel par un modèle mathématique parfait. Ces hypothèses sont des simplifications volontaires, des "mensonges utiles" qui permettent d'établir des lois universelles et prédictives.

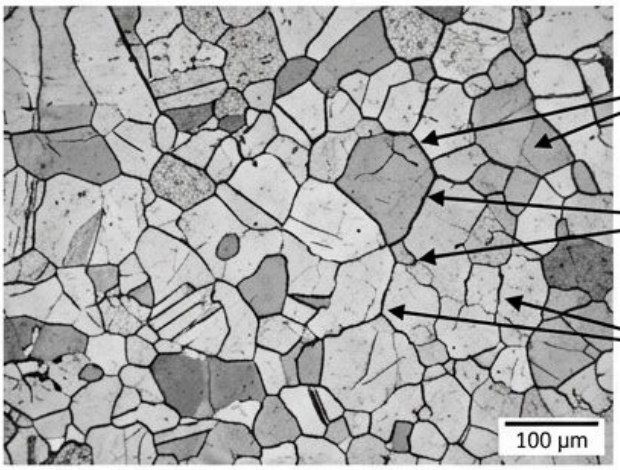
A. Hypothèses relatives au matériau

Trois hypothèses principales définissent le matériau "idéal" utilisé dans nos calculs. Elles permettent de considérer la matière comme un milieu uniforme et prévisible.

- **L'homogénéité :** Le matériau possède les mêmes propriétés mécaniques (élasticité, résistance) en tout point. Un centimètre cube d'acier prélevé au début d'une poutre est identique à celui prélevé à la fin. Les variations locales sont ignorées.
- **L'isotropie :** Les propriétés mécaniques du matériau sont les mêmes dans toutes les directions. Une tige d'acier résistera de la même manière à une traction, qu'elle soit appliquée verticalement, horizontalement ou en diagonale.
- **La continuité :** Le matériau remplit parfaitement le volume qu'il occupe. Sa structure atomique ou moléculaire, qui est par nature discontinue, est ignorée. On le traite comme une pâte pleine, sans aucun vide.

Figure 2 : Réf. IMG (9295-0524-1008)
Vue microscopique d'un métal réel versus
sa modélisation idéale en RDM

a. La réalité hétérogène

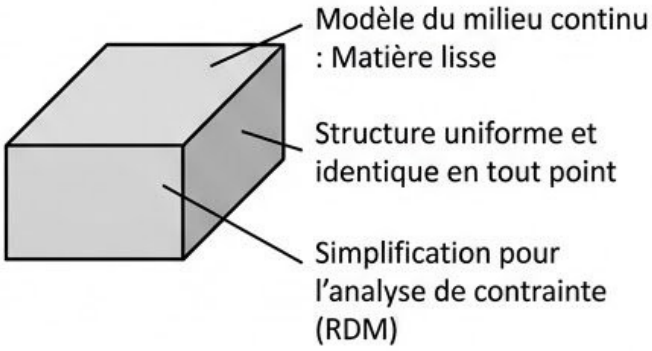


Microrésolution optique d'un stéel sample
de Lubumbashi

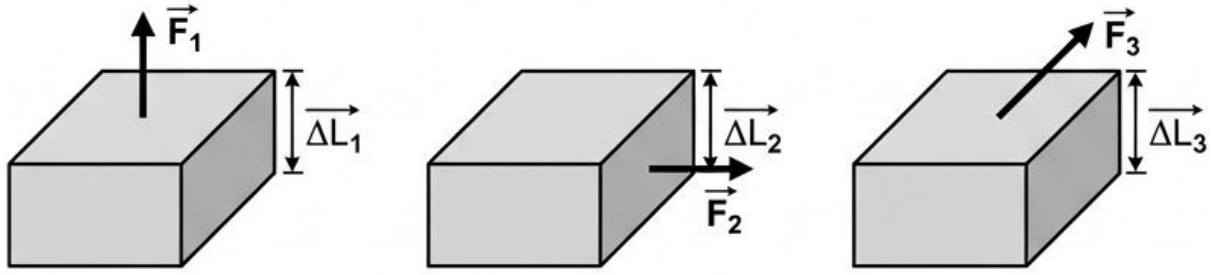


Méchaniqu congoloique de african origin

b. Le modèle homogène et continu



c. L'illustration de l'isotropie



Isotropie : Réponse identique (allongement ΔL) pour une même force (**F**) dans toutes les directions

Figure 2 : Réf. IMG (9295-0524-1008)

Vue microscopique d'un métal réel versus sa modélisation idéale en RDM

a. La réalité hétérogène

Un microscope révèle la vraie nature d'un acier. C'est une mosaïque de grains de formes et d'orientations différentes, avec des joints de grains et parfois des micro-fissures. Un mécanicien de Lubumbashi qui soude un châssis travaille sur cette réalité complexe. Chaque grain a des propriétés légèrement distinctes. C'est un matériau hétérogène. Nos formules ne peuvent pas prendre en compte cette complexité infinie.

b. Le modèle homogène et continu

Pour le calcul, la RDM remplace cette mosaïque par un bloc uniforme. On imagine que la matière est parfaitement lisse et identique en tout point. C'est le modèle du milieu continu et homogène. Cette simplification est la pierre angulaire de toute l'analyse de contrainte.

c. L'illustration de l'isotropie

Sur ce modèle idéalisé, si on applique une force vers le haut, vers la droite ou en oblique, la réponse du matériau (son allongement) sera la même pour une même intensité de force. C'est la définition de l'isotropie. C'est vrai pour les métaux, mais faux pour le bois qui se fend facilement dans le sens des fibres.

B. Hypothèses relatives aux forces et aux déformations

Le comportement des pièces sous charge est aussi simplifié par des principes fondamentaux.

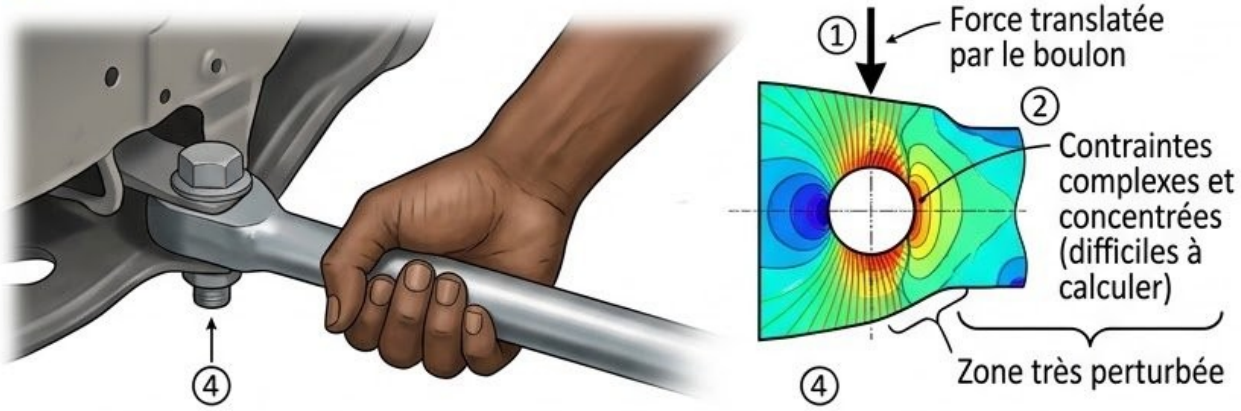
- **Le principe de Saint-Venant :** L'effet précis d'une charge sur la distribution des contraintes ne se fait sentir que très localement, près du point d'application. À une distance suffisante, la manière dont la force a été appliquée (sur un point, une petite surface) n'a plus d'importance. Seul le résultat global de la force compte.
- **L'hypothèse des petites déformations :** Les déformations subies par la pièce sont très faibles par rapport à ses dimensions initiales. Un pont qui fléchit de quelques centimètres sous le poids d'un camion est

un cas de petite déformation. On peut donc faire les calculs d'équilibre sur la géométrie non déformée, ce qui simplifie énormément les équations.

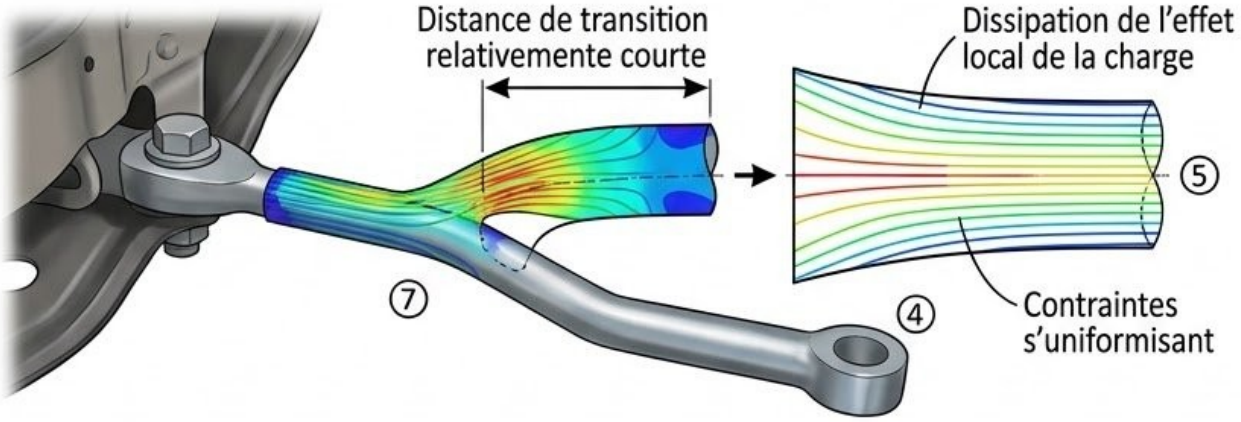
Figure 3 : Réf. IMG (9353-4383-6056)

Illustration du principe de Saint-Venant sur un tirant de suspension

a La zone d'application de la force



b La zone de diffusion de la contrainte



c L'uniformisation loin du point d'application

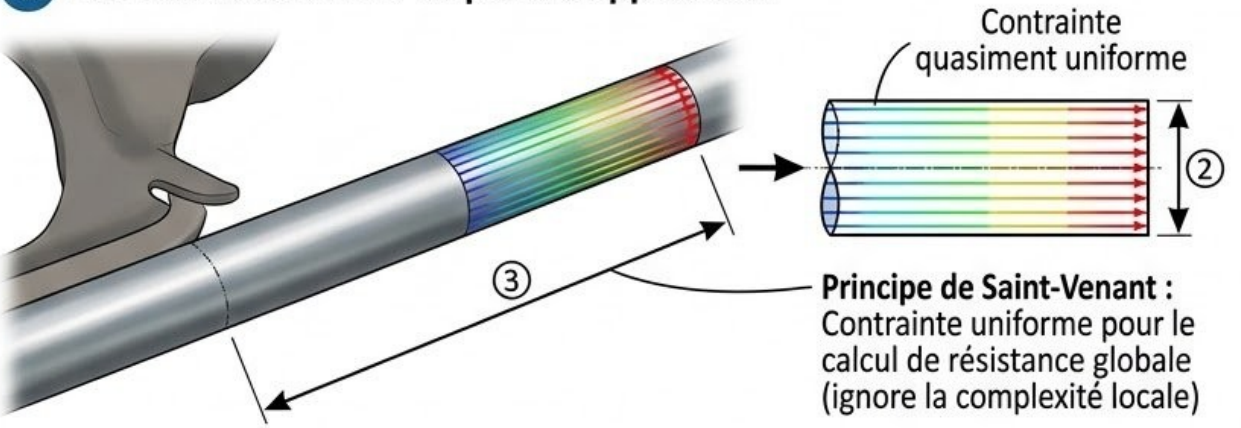


Figure 3 : Réf. IMG (9353-4383-6056)

Illustration du principe de Saint-Venant sur un tirant de suspension

a. La zone d'application de la force

Quand un tirant de suspension est fixé au châssis d'un véhicule à Mbandaka, la force de la route est transmise par un boulon. Juste autour du trou du boulon, les contraintes sont très complexes et difficiles à calculer. Elles sont concentrées et non uniformes. Cette zone est très perturbée.

b. La zone de diffusion de la contrainte

En s'éloignant un peu du point de fixation, les contraintes commencent à se "calmer" et à se répartir plus uniformément sur toute la section de la pièce. Cette zone de transition est relativement courte. C'est ici que l'effet local de la charge se dissipe.

c. L'uniformisation loin du point d'application

Rapidement, à une distance équivalente à la plus grande dimension de la section, la contrainte devient quasiment uniforme sur toute la largeur de la pièce. Le principe de Saint-Venant nous autorise à considérer cette contrainte uniforme pour calculer la résistance globale du tirant, en ignorant la complexité au point d'attache.

Une simplification bien pratique

Papa Kanku, un mécanicien respecté de Mbuji-Mayi, inspecte le châssis en échelle d'un vieux camion Fuso. Son apprenti, le jeune Tshibangu, est perplexe. "Vieux, comment peux-tu être sûr que cette traverse va tenir ? Elle a des points de rouille et le métal n'est pas parfait comme dans nos livres." Avec un sourire, Papa Kanku tapote la traverse. "La RDM nous apprend à calculer pour une traverse parfaite, sortie de l'usine de Maluku. Ça, c'est notre base. Mais la vie, ce n'est pas le livre. La rouille, la fatigue, les surcharges sur la route de Kananga… tout ça, c'est le monde réel. Alors, une fois que j'ai le calcul pour la pièce parfaite, j'applique une 'taxe pour la vie difficile' : le coefficient de sécurité. Je m'assure que la pièce peut tenir 3 ou 4 fois plus que nécessaire.

C'est comme ça qu'on utilise les hypothèses parfaites pour réparer le monde imparfait."

Exercice 1 : Le cric de la Fina

Énoncé : Bavon, un chauffeur de taxi-moto à Bukavu, utilise un cric à vis pour soulever sa moto. La vis principale du cric est en acier. En RDM, on suppose cet acier parfaitement homogène et isotrope. Expliquez pourquoi l'hypothèse d'homogénéité est cruciale pour calculer si la vis va résister.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Définir l'hypothèse d'homogénéité** Cette hypothèse affirme que les propriétés du matériau, comme sa limite d'élasticité ou sa résistance à la rupture, sont les mêmes en tout point de la vis.
2. **Étape 2 : Appliquer au cas du cric** Pour calculer la charge maximale que la vis peut supporter avant de se casser, nous avons besoin d'une valeur unique pour la résistance de l'acier (R_e). Si l'acier n'était pas homogène, la résistance varierait le long de la vis. Le calcul deviendrait impossible, car il faudrait connaître la résistance en chaque point.
3. **Étape 3 : Conclure sur son importance** L'hypothèse d'homogénéité est cruciale car elle permet d'utiliser une seule valeur de résistance caractéristique pour toute la pièce. Elle transforme un problème infiniment complexe (un matériau variable) en un problème solvable et sûr.

Exercice 2 : La tôle de carrosserie à Matadi

Énoncé : Maman Hélène, tôlière au port de Matadi, redresse une aile de voiture. Elle utilise un marteau et une tas pour reformer une tôle d'acier. Elle constate qu'il est aussi facile de plier la tôle dans un sens que dans l'autre. Quelle hypothèse de la RDM son observation pratique confirme-t-elle ? Justifiez.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier l'action et l'observation** L'action est le pliage d'une tôle. L'observation est que la facilité de pliage est la même dans toutes les directions. La question porte donc sur le comportement du matériau en fonction de l'orientation.

2. **Étape 2 : Relier l'observation aux hypothèses** Les trois hypothèses sur le matériau sont l'homogénéité, la continuité et l'isotropie. L'isotropie est l'hypothèse qui stipule que les propriétés mécaniques sont identiques dans toutes les directions.
3. **Étape 3 : Conclure sur l'hypothèse confirmée** L'observation de Maman Hélène confirme l'**hypothèse d'isotropie**. Le fait que la tôle réagisse de la même manière au pliage, quelle que soit sa direction, montre que ses propriétés de flexion sont les mêmes dans toutes les directions de son plan. Les aciers utilisés en carrosserie sont spécifiquement fabriqués pour être isotropes.

1.3. Contrainte, déformation et principe de Saint-Venant

a. L'effort intérieur et ses conséquences

Lorsque l'on tire sur une corde à Mbandaka, elle résiste. Cette résistance interne est une force répartie sur toute la section de la corde. C'est l'idée fondamentale de la contrainte. Une force invisible naît à l'intérieur de la matière pour s'opposer à l'action extérieure.

Simultanément, la corde s'allonge un peu. Cet allongement, rapporté à sa longueur initiale, définit la déformation. Ces deux concepts, contrainte et déformation, sont le cœur de la résistance des matériaux. Ils quantifient la réaction d'une pièce mécanique face aux sollicitations.

A. La Contrainte Normale (σ)

Une force N appliquée perpendiculairement (normalement) à une surface d'aire A génère une contrainte normale, notée σ (sigma). Cette valeur représente la force interne moyenne par unité de surface.

Sa formule est :

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

- N est l'effort normal en Newtons (N).
- A est l'aire de la section droite en mètres carrés (m^2) ou millimètres carrés (mm^2).
- σ est la contrainte en Pascals (Pa) ou MégaPascals (MPa).